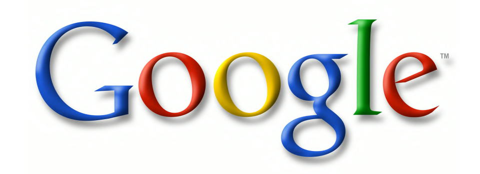
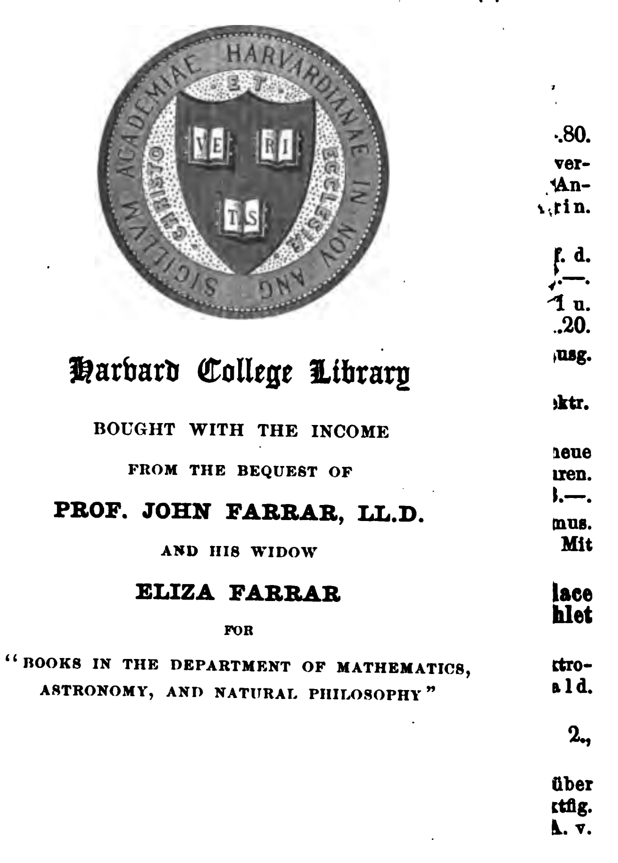


OSTWALDS KLASSIKER

DER

EXAKTEN WISSENSCHAFTEN



Nr. ... -.80.
» ... ver- ... An- ... rin.
» ... d. ... —.
» ... 1 u. ... .20.
» ... usg.
» 1 ... ktr.
» 1 ... neue ... ren. ... —.
» ... mus. ... Mit
» ... lace ... hlet
» ... tro- ... ald.
» ... 2.,
» ... über ... tfig. ... A. v.

» 25. ... 4. Tag, 5. und 6. Tag mit 23 Text- ... ein. übersetzt u. herausgegeben von ... 1.20.

Nr. 31. **Lamberts** Photometrie. (1760.) Deutsch herausg. v. E. Anding. I. Heft: Theil I. u. II. Mit 35 Textfiguren. (135 S.) ℳ 2.—.

» 32. —— —— II. Heft: Theil III, IV und V. Mit 32 Textfig. (112 S.) ℳ 1.60.

» 33. —— —— III. Heft: Theil VI und VII. — Anmerkungen. Mit 8 Textfiguren. (172 S.) ℳ 2.50.

» 34. **R. Bunsen** und **H. E. Roscoe,** Photochemische Untersuchungen. (1855—1859.) I. Hälfte. Herausgegeben von W. Ostwald. Mit 13 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 36. **F. Neumann,** Theorie inducirter elektr. Ströme. (1847.) Herausg. von C. Neumann. Mit 10 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 37. **S. Carnot,** Bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen. (1824.) Übersetzt u. herausg. von W. Ostwald. Mit 5 Textfiguren. (72 S.) ℳ 1.20.

» 40. **A. L. Lavosier** u. **P. S. de Laplace,** Zwei Abhandlungen über die Wärme. (Aus d. Jahren 1780 u. 1784.) Herausgeg. von J. Rosenthal. Mit 13 Textfiguren. (74 S.) ℳ 1.20.

» 42. **A. v. Humboldt** u. **J. F. Gay-Lussac,** Abhandl. über d. Volumgesetz gasförm. Verbindgn. 1805—1808. Herausgegeben v. W. Ostwald. (42 S.) ℳ —.60.

» 44. Das Ausdehnungsgesetz der Gase. Abhandlungen von **Gay-Lussac, Dalton, Dulong** u. **Petit, Rudberg, Magnus, Regnault.** (1805-1842.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 33 Textfig. (212 S.) ℳ 3.—.

» 45. **Humphry Davy,** Elektrochemische Untersuchungen. Vorgelesen in d. königl. Societät zu London als Bakerian Lecture am 20. Nov. 1806 und am 19. Nov. 1807. Herausgeg. von W. Ostwald. Mit 1 Tafel. (92 S.) ℳ 1.20.

» 52. **Aloisius Galvani,** Kräfte der Elektricität bei der Muskelbewegung. (1791.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 21 Figuren auf 4 Tafeln. (76 S.) ℳ 1.40.

» 53. **C. F. Gauss,** Die Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maß zurückgeführt. Herausg. von E. Dorn. (62 S.) ℳ 1.—.

» 56. **Ch. Blagden,** Überkaltung und Gefrierpunktserniedrigung. (1788.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. (49 S.) ℳ —.80.

» 57. **Fahrenheit, Réaumur, Celsius,** Thermometrie. (1724, 1730 bis 1733, 1742.) Herausgeg. von A. v. Oettingen. Mit 17 Textfig. (140 S.) ℳ 2.40.

» 59. **Otto von Guerickes** neue »Magdeburgische« Versuche über den leeren Raum. (1672.) Aus dem Lateinischen übersetzt und herausgegeben von Friedrich Dannemann. Mit 15 Textfiguren. (116 S.) ℳ 2.—.

» 61. **G. Green,** Ein Versuch, die mathemat. Analysis auf die Theorien der Elektricität u. des Magnetismus anzuwenden. (1828.) Herausg. von A. v. Oettingen und A. Wangerin. (140 S.) ℳ 1.80.

» 63. **Hans Christian Oersted** und **Thomas Johann Seebeck,** Zur Entdeckung des Elektromagnetismus. (1820—1821.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 30 Textfiguren. (83 S.) ℳ 1.40.

» 69. **James Clerk Maxwell,** Über Faradays Kraftlinien. (1855 und 1856.) Herausgegeben von L. Boltzmann. (130 S.) ℳ 2.—.

» 70. **Th. J. Seebeck,** Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. (1822—1823.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 33 Textfiguren. (120 S.) ℳ 2.—.



Bestimmung

des

Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten

in bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre

Von

Joseph Fraunhofer

Herausgegeben

von

Arthur von Oettingen

Mit einem Bildnis, 6 Figuren im Text und 2 Figuren auf einer Tafel

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1905



[193]

Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre.

Von

Joseph Fraunhofer.

(Aus: Denkschriften der Königl. Akademie der Wissenschaften zu München für die Jahre 1814 u. 1815, Bd. V.)

Bei Berechnung achromatischer Fernrohre setzt man die genaue Kenntnis des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens der Glasarten, die gebraucht werden, voraus. Die Mittel, welche man bisher zur Bestimmung desselben angewendet hat, geben Resultate, die unter sich oft sehr bedeutend abweichen; daher bei aller Genauigkeit, in Berechnung achromatischer Objektive, die Vollkommenheit derselben zweifelhaft ist und zum Teil auch deswegen selten den Erwartungen ganz entspricht. [194] Mehrjährige Erfahrungen in diesem Fache führten mich auf neue Methoden, das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen zu finden, die ich hier, weil mehrere Gelehrte es wünschen, bekannt mache. Ich lasse diese Versuche in derselben Ordnung folgen, in welcher ich sie machte und abzuändern für nötig fand.

Ich suchte anfänglich die Größe der Farbenzerstreuung einer Glasart aus der Größe des prismatischen Farbenbildes, welches ein Prisma von bekannten Winkeln in einem verfinsterten Zimmer in bestimmter Entfernung gab. Auch der Exponent des Brechungsverhältnisses wurde daraus abgeleitet. Allein die Unbestimmtheit der Grenzen des Farbenbildes ließ eine große Ungewißheit in der Genauigkeit der Resultate.

Zur Bestimmung des Verhältnisses der Farbenzerstreuung und Brechung in Flint- und Crownglas schliff ich aus diesen

beiden Glasarten Prismen von kleinen, entgegengesetzt brechenden Winkeln, die so lange geändert wurden, bis für den einen Fall die Farbenzerstreuung, für den andern die Brechung gehoben war; das Verhältnis der Winkel dieser Prismen war alsdann umgekehrt das der Farbenzerstreuung oder Brechung. Allein aus mehreren Paaren solcher Prismen von denselben Glasarten erhielt ich, besonders für das Verhältnis der Farbenzerstreuung, sehr verschiedene Resultate. Ich wählte deswegen zur Bestimmung der relativen Farbenzerstreuung größere Prismen, mit größeren entgegengesetzt brechenden Winkeln. Das Prisma von Crownglas hatte 60—70°. Der Winkel eines der

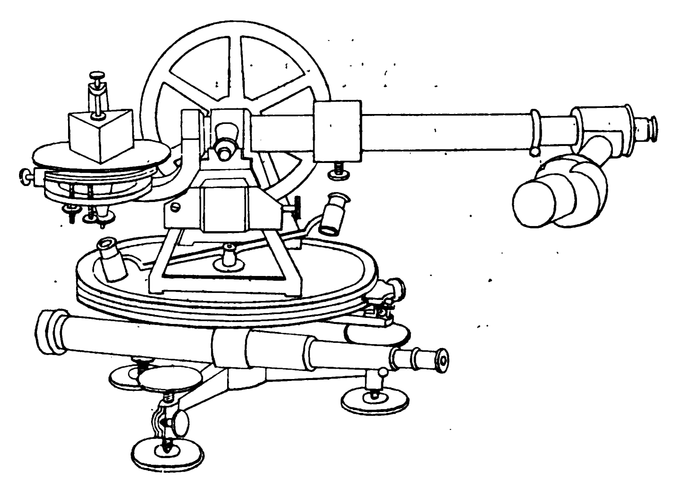


Fig. 1.

beiden Prismen wurde durch Schleifen so lange geändert, bis die Farbenzertreuung ungefähr gehoben schien; genauer wurde sie alsdann durch Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles gehoben. Da bei Prismen von so großen Winkeln schon bei geringer Veränderung des Winkels des einfallenden Strahles das Licht von der zweiten brechenden Fläche zurückgeworfen wird, so wurden die beiden Flächen der Prismen, die einander entgegenstanden und sich berührten, mit einer stark brechenden Flüssigkeit, z. B. mit Öl, bestrichen, wo das Licht fast unter allen Einfallswinkeln durchgelassen wurde. [195] Um genau messen zu können, unter welchem Einfalls-

winkel die Farbenzerstreuung gehoben wird, wurden die beiden Prismen vor das Objektiv eines Theodolithfernrohres gebracht; sie lagen hier auf einer horizontalen Scheibe, die, da sie an einer stählernen Achse ist, um ihren Mittelpunkt gedreht werden kann. Die Hülse der Achse ist mit dem Fernrohre fest verbunden (Fig. 1). Es wurde so am Fernrohr durch die Prismen ein entfernter Gegenstand mit scharfen, vertikal laufenden Grenzen besehen, und der Winkel der einfallenden Strahlen durch Verdrehen der Scheibe und Alhidade des Theodoliths so lange geändert, bis die Farbenzerstreuung am geringsten zu sein schien; oder vielmehr bis die scharfen vertikal laufenden Grenzen des Gegenstandes am deutlichsten gesehen wurden. Um den Einfallswinkel selbst messen zu können, war auf der Scheibe noch eine Regel aufgelegt, an der zwei stählerne Spitzen vorstehen, welche die erste Fläche der Prismen genau

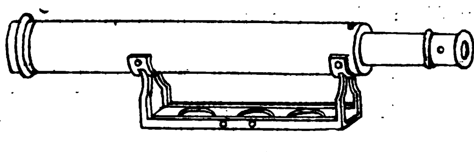


Fig. 2.

berührten. Auf der Regel ist in einiger Entfernung oberhalb ein Fernrohr fest, dessen Achse mit den zwei stählernen Spitzen genau parallel läuft (Fig. 2). Das Fernrohr ist nur an beiden Enden an der Regel fest, so daß das Licht zwischen dem Fernrohre und der Regel auf die Prismen fallen kann. Es ist folglich leicht, den Einfallswinkel am Theodolith genau zu messen. Aus diesen, den Winkeln der Prismen, die mit derselben Regel am Theodolith genau gemessen werden können, und den Exponenten der Brechungsverhältnisse wurde mittels einer sehr genauen Formel das Verhältnis der Farbenzerstreuung abgeleitet.

[**196**] Bei einem und demselben Paare Prismen stimmen die Beobachtungen so gut überein, daß man bei einem Objektive, welches danach berechnet würde, keine schädliche Abweichung zu fürchten hätte. Sucht man aber mit mehreren Paaren Prismen von denselben Glasarten und verschiedenen Winkeln die relative Farbenzerstreuung, so bekommt man Unterschiede, die bei größeren Objektiven noch eine schädliche Abweichung

verursachen könnten. Dieses gab Veranlassung zu folgenden Versuchen.

Besieht man durch zwei Prismen von Flint- und Crownglas, mit entgegengesetzt brechenden Winkeln, einen Gegenstand, so findet man ihn, besonders, wenn mit einem Fernrohre durch die Prismen gesehen wird, nie ganz farblos. Die Farbenzerstreuung ist bei einem bestimmten Winkel der einfallenden Strahlen am kleinsten; wird dieser Winkel größer oder kleiner, so wird in beiden Fällen die Farbenzerstreuung vermehrt. Wie bekannt, entsteht die noch übrigbleibende Zertreuung dadurch, daß für die verschiedenen farbigen Strahlen in den beiden Glasarten das Verhältnis der Zerstreuung nicht einerlei ist. Wenn z. B. die Zerstreuung der roten Strahlen im Crownglase zur Zerstreuung der roten Strahlen im Flintglase sich verhält wie 10 : 19, so können in eben diesen Glasarten die violetten Strahlen in dem Verhältnis von 10 : 21 zerstreut werden. Deswegen kann die Farbenzerstreuung nicht vollkommen gehoben werden.

Es würde sehr vorteilhaft sein, wenn man in jeder Glasart das Zerstreuungsvermögen für jede Farbe besonders finden könnte; allein da im Spektrum die verschiedenen Farben keine bestimmten Grenzen haben, so ist dieses unmittelbar aus dem Farbenbilde nicht abzuleiten; die Ungewißheit würde hier so groß sein, daß die Versuche ohne Vorteile blieben. Genauer würde dieses geschehen, wenn man gefärbte Gläser oder gefärbte Flüssigkeiten fände, die nur einfaches farbiges Licht durchließen, z. B. die eine nur blaues, die andere nur rotes Licht usw.; allein ich war nicht so glücklich, solche zu finden. Bei allen wurde das weiße Licht, das durch sie fuhr, noch in alle Farben zerlegt; nur war die Farbe, die das gefärbte Glas oder die Flüssigkeit hatte, im Spektrum die lebhafteste. [197] Auch die farbigen Flammen, die man durch Verbrennen von Alkohol, Schwefel usw. erhält, geben, durch das Prisma gesehen, kein einfaches Licht, das ihrer Farbe entspricht; jedoch fand ich bei diesen, sowie auch mit Öl- und Talglicht und überhaupt mit dem Lichte des Feuers, im Farbenbilde zwischen der roten und gelben Farbe einen hellen, scharf begrenzten Streifen, der bei allen genau an demselben Orte ist und in der Folge sehr nützlich wurde. Dieser helle Streifen scheint durch Lichtstrahlen gebildet zu werden, die durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden, und folglich einfach sind. Auch in der grünen Farbe findet sich ein ähnlicher Streifen,

der jedoch nicht so scharf begrenzt und ungleich schwächer

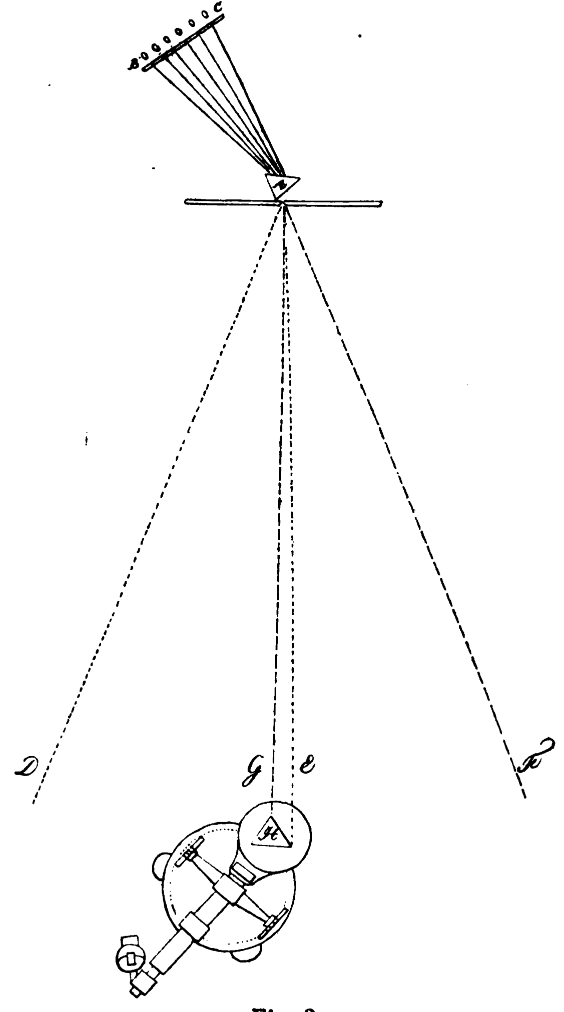


Fig. 3.

ist, so daß man ihn in einigen Fällen schwer erkennt; deswegen kann man von diesem keinen Gebrauch machen.

Um einfaches Licht von jeder Farbe zu erhalten, wählte ich folgende Vorrichtung. An einem Fensterladen, der nur eine schmale Öffnung von 0,07 Zoll Breite und 1½ Zoll Höhe hat, steht ein Prisma *A* (Fig. 3) von Flintglas, dessen Winkel ungefähr 40° mißt; 13 Fuß von demselben in *BC* stehen sechs Lampen, von welchen durch schmale Öffnungen Licht auf das Prisma *A* fällt. Die Breite jeder Öffnung ist 0,05 Zoll und ihre Entfernungen voneinander 0,58 Zoll, die Höhe jeder Öffnung ungefähr 1½ Zoll. Das Licht, das von den Lampen auf das Prisma *A* fällt, wird von diesem gebrochen, in Farben zerlegt und fährt durch die Öffnung am Fensterladen. Von der Lampe *C* z. B. fahren die roten Strahlen nach *E*, die violetten nach *D*. Von der Lampe *B* fahren die roten Strahlen nach *F*, die violetten nach *G* usw. An dem Fenster eines andern Hauses, 692 Fuß von *A* entfernt, in einer Ebene mit *BAC*, steht das schon oben genannte Theodolith, vor dessen

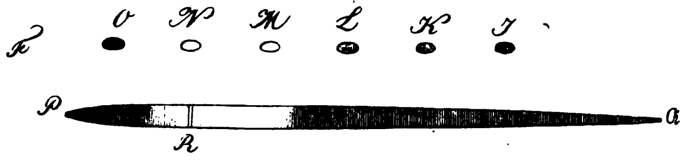


Fig. 4.

Fernrohr auf der horizontalen Scheibe das Prisma *H* steht, dessen Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögen gesucht werden soll. Von der Lampe *C* kann das Prisma *H* nur die roten Strahlen erhalten, weil die übrigen, z. B. die violetten, nach *D* fahren und das Prisma nicht treffen. [**198**] Von der Lampe *B* fallen nur die violetten Strahlen auf das Prisma *H* usw., und so erhält dieses Prisma von jeder Lampe andere farbige Lichtstrahlen, die alle von einem Punkte ausfahren. Ist das Prisma *H* oder die Öffnung des Objektives nicht so breit, so werden einige farbige Strahlen, wie z. B. die zwischen den violetten und blauen, zwischen den blauen und grünen usw. von keiner der sechs Lampen das Prisma *H* treffen und also ganz fehlen. In diesem Falle wird durch das Prisma *H* am Fernrohre des Theodoliths das Spektrum der durch die schmale Öffnung bei *A* fahrenden Lichtstrahlen, wie in Fig. 4, gesehen, wo *I* violett, *K* blau, *L* grün usw. ist, und folglich

jede Farbe isoliert ist. Die Entfernungen ON, NM usw. werden um so größer sein, je größer, bei einerlei Winkel des Prismas H, das Zerstreuungsvermögen des Glases ist. Da nicht nur diese Entfernungen, sondern auch der Winkel, den der einfallende Strahl mit einem der gebrochenen Strahlen macht, am Theodolith genau gemessen werden können, so kann mit dieser Vorrichtung in jedem brechenden Mittel das Brechungsvermögen für jeden farbigen Lichtstrahl bestimmt werden. 1½ Fuß oberhalb des Prismas A ist im Fensterladen noch eine zweite schmale Öffnung, die mit der bei A genau in einer Vertikalen ist. Vor dieser oberen Öffnung steht eine Lampe, von der das Prisma H unmittelbar Licht erhält. Durch das Prisma H im Fernrohre des Theodolits muß alsdann das Farbenbild der von dieser Lampe kommenden Lichtstrahlen unterhalb der farbigen Punkte, wie PRQ, gesehen werden. R ist der natürliche rötlichgelbe helle Streifen, der in jedem Farbenbilde vom Lichte des Feuers gesehen wird. Dieser Streifen mußte hier dazu dienen, um versichert zu sein, daß man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer genau dieselbe Farbe habe, was nicht ist, wenn der Tisch, worauf die Lampen stehen, in bezug auf das Prisma A im geringsten seine Stellung verändert. Es wird deswegen der Tisch so gestellt, daß der Punkt N immer in einer Vertikalen von R ist; ist er es nicht, so kann er mit Korrektionsschrauben bei B und C dahin gebracht werden. [199] Da die Entfernungen der Lampen unter sich, oder vielmehr die Entfernungen der schmalen Öffnungen, durch welche ihr Licht auf das Prisma A fährt, unveränderlich sind; so ist man versichert, daß man an verschiedenen Tagen in den farbigen Punkten immer dieselbe Farbe habe.

Die Entfernungen einiger farbigen Punkte, wie der violetten, blauen und roten, deren Licht sehr schwach ist, können ohne Erleuchtung des Mikrometerfadens nicht gemessen werden. Durch die gewöhnliche Erleuchtung des Gesichtsfeldes aber verlieren die farbigen Punkte so viel an Licht, als die Fäden gewinnen, weswegen sie nicht angewendet werden kann. Bei dem Mikrometer, wie ich es am Theodolith angebracht habe, sind bloß die Fäden erleuchtet, und das ganze Gesichtsfeld ist schwarz. Sie können ohne Mühe in jedem Augenblick stark und schwach erleuchtet werden. Die Beleuchtung geschieht an einer Seite des Okularrohres mit einer sehr kleinen Lampe, die in einer hohlen Kugel ist, von der Licht auf eine Linse fällt, die es

parallel auf die Fäden bringt. Am Rande des besonders dazu eingerichteten Okulars wird das übrige Licht verschluckt, ohne daß es auf die Linse fällt.

Ich habe mit diesem Apparate die Winkel der Brechung der verschiedenen farbigen Strahlen für mehrere brechende Mittel gemessen, die ich hier in Tab. I folgen lasse. Bei allen ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen Strahles *N* gleich. Jeder Winkel wurde durch viermalige Wiederholung erhalten. Da das Licht, das von *A* kommt, nicht parallel auf das Prisma *H* fällt, oder vielmehr, da die Scheibe, auf welcher das Prima *H* steht, nicht in der Achse des Theodoliths liegt, sondern die Mitte derselben 4,25 Zoll von dieser Achse entfernt ist; so mußte der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle *N* macht, eine kleine Korrektion erhalten. Die Entfernung von *A* nach *H* ist 692 Fuß, und folglich die Korrektion für das Prisma von Flintglas + 31 Zoll, für Crownglas + 40 Zoll, für Wasser + 40 Zoll usw.; die Bogen *LM*, *NM* usw. bedurften dieser Korrektion nicht.

[200] Ich setze hierher die aus den Winkeln berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen für Flintglas, Crownglas und Wasser und nenne den Exponenten des Brechungsverhältnisses für den Strahl *O*, *On*; für den Strahl *N*, *Nn* usw.

Brechende Mittel	Exponenten der Brechungsverhältnisse.					
	On	*Nn*	*Mn*	*Ln*	*Kn*	*In*
Flintglas Nr. 13	1,63074	1,63505	1,63933	1,64349	1,64775	1,65203
Crownglas Nr. 9	1,52736	1,52959	1,53173	1,53380	1,53586	1,53783
Wasser	1,33209	1,33359	1,33501	1,33635	1,33763	1,33888

Daraus folgt das Verhältnis der Zerstreuung der verschieden farbigen Strahlen in diesen brechenden Mitteln, wie ich es hier folgen lasse. Ich nenne die Exponenten der Brechungsverhältnisse der stärker zerstreuenden Mittel *On'*, *Nn'* usw.

Brechende Mittel	$\frac{Nn'-On'}{Nn-On}$	$\frac{Mn'-Nn'}{Mn-Nn}$	$\frac{Ln'-Mn'}{Ln-Mn}$	$\frac{Kn'-Ln'}{Kn-Ln}$	$\frac{In'-Kn'}{In-Kn}$
Flintglas Nr. 13 u. Crownglas Nr. 9	1,93	2,00	2,01	2,07	2,17
Flintglas Nr. 13 und Wasser	2,87	3,01	3,10	3,33	3,42
Crownglas Nr. 9 und Wasser	1,49	1,51	1,55	1,61	1,58

[**201**] Aus diesen Versuchen fällt die große Verschiedenheit in dem Verhältnis der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Lichtstrahlen einiger brechenden Mittel sehr in die Augen.

Sehr auffallend ist bei diesen Versuchen auch der Einfluß der Wärme auf das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten. Bei allen wird schon bei geringer Wärmeänderung in dem unteren Teile des prismatischen Gefäßes das Brechungsvermögen der Flüssigkeiten bedeutend stärker, als es in dem oberen Teile desselben ist, und die ganze Flüssigkeit wird in dieser Beziehung auch wellenförmig, so daß das Sehen durch dieselbe undeutlich wird. Da während der Nacht die Temperatur sich fast beständig ändert; so mußte bei diesen Versuchen die Flüssigkeit alle 5—10 Minuten stark geschüttelt werden, um sie wieder gleichförmig zu machen. Beim Wasser sind diese Verschiedenheiten nicht sehr bedeutend; bei den übrigen Flüssigkeiten aber so groß, daß das ganze Farbenbild zerstreut und undeutlich wird, es mag das Gefäß, wie immer, verschlossen, oder auch die Luft ganz ausgeschlossen sein. Dieser Einfluß macht die Hoffnung verschwinden, ohne Flintglas, mit Flüssigkeiten von verschiedener Brechbarkeit, achromatische Objektive zu erhalten, die brauchbar sind. Man sieht aber auch, bloß von dieser Seite betrachtet, wie schwer es sei, Flint- und Crownglas von vollkommen gleicher Dichtigkeit zu schmelzen, da in jedem Glasofen in dem oberen Teile des Hafens die Wärme fast um den dritten Teil größer ist als in dem unteren.

Um die Exponenten der Brechungsverhältnisse der verschiedenen farbigen Strahlen noch genauer zu bestimmen, teils auch, um zu erfahren, ob die Wirkung der brechenden Mittel auf das Sonnenlicht dieselbe sei wie auf künstliches Licht, war ich bemüht, einen Apparat zu machen, der für Sonnenlicht dasselbe wäre, was der oben beschriebene für Lampenlicht ist; dieser wurde jedoch bald überflüssig.

[202] In einem verfinsterten Zimmer ließ ich durch eine schmale Öffnung im Fensterladen, die ungefähr 15 Sekunden breit und 36 Minuten hoch war, auf ein Prisma von Flintglas, das auf dem oben beschriebenen Theodolith stand, Sonnenlicht fallen. Das Theodolith war 24 Fuß vom Fensterladen entfernt, und der Winkel des Prismas maß ungefähr 60°. Das Prisma stand so vor dem Objektive des Theodolithfernrohres, daß der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen Strahles gleich war. Ich wollte suchen, ob im Farbenbilde vom Sonnenlichte ein ähnlicher heller Streifen zu sehen sei wie im Farbenbilde vom Lampenlichte, und fand anstatt desselben mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien, die aber dunkler sind als der übrige Teil des Farbenbildes; einige scheinen fast ganz schwarz zu sein. Wurde das Prisma so gedreht, daß der Einfallswinkel größer wurde, so verschwanden diese Linien; sie wurden auch unsichtbar, wenn der Einfallswinkel kleiner wurde. Bei einem größeren Einfallswinkel wurden diese Linien wieder sichtbar, wenn das Fernrohr sehr bedeutend kürzer gemacht wurde. Bei einem kleineren Einfallswinkel mußte das Okular sehr viel herausgezogen werden, um die Linien wieder zu sehen. Wenn das Okular so gestellt war, daß man die Linien im roten Teile des Farbenbildes deutlich sah, so mußte es etwas hineingeschoben werden, um die im violetten Teile deutlich zu sehen. Wurde die Öffnung, durch welche das Licht einfiel, breiter gemacht, so wurden die feineren Linien undeutlich und verschwanden ganz, wenn diese Öffnung ungefähr über 40 Sekunden breit war. Wurde die Öffnung über eine Minute breit gemacht, so waren auch die breiten Linien nur undeutlich zu erkennen. Die Entfernung der Linien voneinander und überhaupt ihr Verhältnis unter sich blieb bei Veränderung der Öffnung am Fensterladen gleich, sowie auch die Entfernung des Theodoliths von der Öffnung am Fensterladen sie nicht änderte. Das Prisma mochte aus was immer für einem brechenden Mittel bestehen, und der Winkel desselben groß oder klein

sein, so waren diese Linien immer sichtbar, und nur im Verhältnis der Größe des Farbenbildes stärker oder schwächer und daher leichter oder schwerer zu erkennen.

[203] Selbst das Verhältnis dieser Linien und Streifen unter sich schien bei allen brechenden Mitteln genau dasselbe zu sein, so daß z. B. dieser Streifen bei allen nur in der blauen Farbe, der andere bei allen nur in der roten sich findet; daher man leicht erkennt, mit welchen Streifen oder Linien man zu tun habe. Auch in dem auf gewöhnliche und ungewöhnliche Art gebrochenen Strahle im isländischen Kristall sind diese Linien zu erkennen. Die stärkeren Linien machen keineswegs die Grenzen der verschiedenen Farben; es ist fast immer zu beiden Seiten einer Linie dieselbe Farbe, und der Übergang von einer Farbe in die andere unmerklich.

In bezug auf diese Linien wird das Farbenbild wie in Fig. 5 (auf der Tafel) gesehen; es ist jedoch fast nicht möglich, in diesem Maßstabe alle Linien und ihr Licht auszudrücken. Ungefähr bei A ist das rote, bei I das violette Ende des Farbenbildes; eine bestimmte Grenze ist aber auf keiner Seite mit Sicherheit anzugeben, leichter noch bei Rot als bei Violett. Ohne unmittelbares oder durch einen Spiegel reflektiertes Sonnenlicht scheint auf der einen Seite die Grenze ungefähr zwischen G und H zu fallen, auf der andern Seite in B zu sein; doch mit Sonnenlicht von sehr großer Dichtigkeit wird das Farbenbild fast noch um die Hälfte länger. Um aber diese größere Ausdehnung des Farbenbildes sehen zu können, muß das Licht von dem Raume zwischen C und G verhindert werden, in das Auge zu kommen, weil der Eindruck, den das Licht von den Grenzen des Farbenbildes auf das Auge macht, sehr schwach ist und von dem übrigen verdrängt wird. In A ist eine scharf begrenzte Linie gut zu erkennen; doch ist hier nicht die Grenze der roten Farbe, sondern sie geht noch merklich darüber weg. Bei a sind mehrere Linien angehäuft, die gleichsam einen Streifen bilden. B ist scharf begrenzt und von merklicher Dicke. Im Raume von B nach C können 9 sehr feine, scharf begrenzte Linien gezählt werden. [204] Die Linie C ist von beträchtlicher Stärke und so wie B sehr schwarz. Im Raume zwischen C und D zählt man ungefähr 30 sehr feine Linien; doch können diese, zwei ausgenommen, wie auch die zwischen B und C, nur mit starken Vergrößerungen oder stark zerstreuenden Prismen deutlich gesehen werden; sie sind übrigens sehr scharf begrenzt. D besteht aus zwei starken Linien, die

nur durch eine helle Linie getrennt sind. Zwischen *D* und *E* zählt man ungefähr 84 Linien von verschiedener Stärke. *E* selbst besteht aus mehreren Linien, wovon die in der Mitte etwas stärker ist als die übrigen. Zwischen *E* und *b* sind ungefähr 24 Linien. Bei *b* sind 3 sehr starke Linien, wovon 2 nur durch eine schmale helle Linie getrennt sind; sie gehören zu den stärksten im Farbenbilde. Im Raume zwischen *b* und *F* zählt man ungefähr 52 Linien. *F* ist ziemlich stark. Zwischen *F* und *G* sind ungefähr 185 Linien von verschiedener Stärke. Bei *G* sind viele Linien angehäuft, worunter sich mehrere durch ihre Stärke auszeichnen. Im Raume von *G* nach *H* zählt man ungefähr 190 Linien von sehr verschiedener Stärke. Die zwei Streifen bei *H* sind am sonderbarsten; sie sind beide fast ganz gleich und bestehen aus vielen Linien; in ihrer Mitte ist eine starke Linie, die sehr schwarz ist. Von *H* nach *I* sind die Linien gleich zahlreich. Es können demnach bloß im Raume zwischen *B* und *H* ungefähr 574 Linien gezählt werden, wovon jedoch nur die stärkeren in der Zeichnung angedeutet sind. Die Entfernung der stärksten Linien voneinander wurden mit dem Theodolith gemessen und in der Zeichnung ungefähr nach diesem Verhältnis aufgetragen; die schwachen Linien aber wurden bloß nach der Ansicht des Farbenbildes ohne genaues Maß gezeichnet.

Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, daß diese Linien und Streifen in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und daß sie nicht durch Beugung, Täuschung usw. entstehen. Läßt man das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Öffnung am Fensterladen einfallen, so findet man keine dieser Linien, sondern nur die helle Linie *R* (Fig. 4), die aber mit der Linie *D* (Fig. 5 auf der Tafel) genau an einem Orte ist, so daß der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl *D* mit dem Exponenten für den Strahl *R* einerlei ist. [205] Warum die Linien undeutlich werden oder gar verschwinden, wenn die Öffnung am Fenster zu breit wird, ist nicht schwer einzusehen. Die stärkeren Linien haben ungefähr 5—10 Sekunden Breite; ist die Öffnung am Fensterladen nicht so schmal, daß das Licht, welches durch sie fährt, gleichsam nur für einen Strahl anzusehen ist, oder beträgt die Breite der Öffnung im Winkel bedeutend mehr als die Breite der Linie: so fällt das Bild einer und derselben Linie mehrmal nebeneinander hin und wird folglich undeutlich oder verschwindet bei zu großer Breite der Öffnung ganz. Warum beim Ver-

drehen der Prismen die Linien und Streifen nicht gesehen werden, ohne das Fernrohr länger oder kürzer zu machen, wird aus folgendem klar.

Nur wenn die Strahlen auf ein Prisma so fallen, daß der Winkel des einfallenden Strahles dem Winkel des gebrochenen gleich ist, fahren sie, in Hinsicht auf Divergenz, so aus, wie sie auffallen; ist der Winkel der auffallenden Strahlen größer, so divergieren sie nach der Brechung durch das Prisma von einem weiter entlegenen Punkte her; ist er kleiner, so divergieren sie von einem näher gelegenen Punkte her. Die Ursache ist, daß die Strahlen, die näher an der Spitze des Prisma durchgehen, einen kürzeren Weg durch dasselbe zu machen haben als die von der Spitze entfernter durchgehen. Dies ändert zwar die Winkel der gebrochenen Strahlen nicht, aber die Seiten des Dreieckes für die ausfahrenden Strahlen werden in dem einen Falle größer, in dem andern kleiner. Dieser Unterschied muß verschwinden, wenn die Strahlen parallel auf das Prisma fallen, welches auch der Erfahrung gemäß ist. Da die violetten Strahlen durch das Objektiv des Theodolithfernrohres eine kürzere Vereinigungsweite haben als die roten, so ist klar, warum man das Okular verrücken müsse, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen.

[**206**] Da die Linien und Streifen im Farbenbilde nur eine sehr geringe Breite haben, so ist klar, daß der Apparat große Vollkommenheit haben müsse, um allen Abweichungen zu entgehen, welche die Linien undeutlich machen oder ganz zerstreuen könnten. Die Seitenflächen der Prismen müssen daher sehr gut plan sein. Das Glas, welches zu solchen Prismen gebraucht wird, muß ganz frei von Wellen und Streifen sein; daher mit englischem Flintglase, das nie ganz frei von Streifen ist, nur die stärkeren Linien gesehen werden. Auch das gemeine Tafel- und englische Crownglas enthält sehr viele Streifen, wenn sie auch für das freie Auge nicht sichtbar sind. Wer nicht im Besitze eines Prismas von vollkommenem Flintglase ist, wählt besser eine stark zerstreuende Flüssigkeit, z. B. Anisöl, um alle Linien zu sehen; doch muß das prismatische Gefäß sehr vollkommen plane und parallele Seitenflächen haben. Bei allen Prismen müssen die Seitenflächen mit der Grundfläche ziemlich nahe 90° machen; die Grundfläche muß horizontal vor dem Fernrohre liegen, wenn die Achse des Fernrohres horizontal läuft. Die schmale Öffnung, durch welche das Licht einfällt, muß genau vertikal stehen usw. Die Ursache, warum

Undeutlichkeit entsteht, wenn eins oder das andere vernachlässigt wird, ist leicht einzusehen.

Da durch jedes brechende Mittel von gleicher Dichtigkeit die Linien und Streifen im Farbenbilde gesehen werden, so habe ich mich derselben bedient, um für jeden farbigen Strahl das Brechungsvermögen eines Mittels zu bestimmen, und weil der größte Teil der Linien sehr scharf begrenzt ist, so konnte dieses mit großer Genauigkeit geschehen. Da bei brechenden Mitteln, die nur wenig zerstreuen, oder bei Prismen mit kleinen Winkeln die feinen Linien selbst mit starken Vergrößerungen nur schwer zu erkennen sind, so wählte ich für alle brechenden Mittel die stärkeren Linien zu diesen Versuchen; ich nahm die Linien B, C, D, E, F, G und H, die bei b wählte ich nicht, weil sie zu nahe bei F ist, und ich mehr in die Mitte zwischen D und F zu kommen suchte. [207] Da das Okular verrückt werden muß, um in den verschiedenen Farben die Linien deutlich zu sehen, so können keine großen Bögen, wie BH, gemessen werden, sondern nur kleine, wie BC, CD usw. Die folgende Tabelle (Tab. II, S. 32) enthält diese gemessenen Bögen und Winkel für verschiedene Glasarten und einige andere brechende Mittel.

Zum Messen der Winkel wurde das schon mehrmals genannte repetierende Theodolith gebraucht, und alle Winkel durch sechsmalige Wiederholung erhalten. Da in dem verfinsterten Zimmer das Theodolith nur 24 Fuß von dem Fensterladen entfernt sein konnte, durch welchen das Licht einfiel, so hätte die Korrektion, die wegen der Entfernung des Prismas von der Achse des Theodoliths, nämlich 4,25 Zoll, an dem Winkel μ gemacht werden muß, sehr groß werden müssen. Um der Unsicherheit, die mit einer großen Korrektion verbunden ist, zu entgehen, bestimmte ich den Winkel μ für Lampenlicht, weil, wie schon oben gesagt worden, der Strahl D und der Strahl R, Fig. 4, genau gleich stark gebrochen werden. Die Lampe war in diesem Falle 692 Fuß entfernt, und die Korrektion von μ wurde dadurch nur klein; für Wasser z. B. betrug sie bei dem gebrauchten Prisma nur 40,5 Sekunden. Im verfinsterten Zimmer wurden daher nur die Bögen BC, CD, DE usw. gemessen, und für diese sind die Korrektionen nicht groß, also sehr zuverlässig; bei dem Wasserprisma z. B. betragen sie nur für BC 2,5; für CD 6,5; für DE 8 Sekunden. Alle Winkel der Tabelle II enthalten diese Korrektionen.

Zur Berechnung der Exponenten der Brechungsverhältnisse ist, wenn σ der Winkel des einfallenden Strahles, ϱ der Winkel des gebrochenen oder ausfahrenden, ψ der Winkel des Prismas und n der Exponent des Brechungsverhältnisses genannt wird:

[208]

$$n = \frac{\sqrt{[(\sin \varrho + \cos \psi \cdot \sin \sigma)^2 + (\sin \psi \cdot \sin \sigma)^2]}}{\sin \psi} \text{ *)}.$$

Ist der Winkel des einfallenden Strahles dem des gebrochenen gleich, und wird der Winkel, den in diesem Falle der einfallende Strahl mit dem gebrochenen macht, μ genannt, so ist:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\mu + \psi)}{\sin \frac{1}{2}\psi}.$$

Da der Winkel des einfallenden Strahles nur einem der gebrochenen Strahlen, z. B. D, gleich sein kann, für die übrigen aber bei unverrücktem Prisma es nicht ist, so wäre dieser letztere Ausdruck von n bei stark zerstreuenden Mitteln für einen andern Strahl, z. B. H, nicht ganz genau. Um diesen kurzen Ausdruck bei Berechnung der Exponenten doch mit größter Genauigkeit anwenden zu können, so wurden die Bögen BC, CD, DE usw. in dem Falle gemessen, wenn die Entfernung der zwei Linien voneinander am kleinsten war. Diese Entfernung haben im Farbenbilde zwei Linien alsdann, wann ein in der Mitte zwischen ihnen liegender Strahl mit dem einfallenden Strahle den kleinsten Winkel macht. Wurde z. B. der Bogen GH gemessen, so war das Prisma so gestellt, daß ein ungefähr in der Mitte zwischen GH liegender Strahl mit dem Prisma denselben Winkel machte, den der einfallende Strahl mit dem Prisma machte. Diese Stellung hat das Prisma dann, wenn der Winkel der Brechung dieses mittleren Strahles am kleinsten ist, was am Fernrohre sehr genau beobachtet werden kann, und durch Verdrehen der Scheibe, worauf das Prisma liegt, schnell dahin zu bringen ist. [209] Bei wenig zerstreuenden Mitteln oder Prismen mit kleinen Winkeln be-

*) Die Entstehung dieser Formel wird klar, wenn man den Weg des Lichtes durch ein Prisma zeichnet; — sie ist ganz genau.

darf es dieser Sorgfalt nicht, um die nötige Genauigkeit zu erreichen.

Wird der Exponent des Brechungsverhältnisses für den Strahl E En genannt, so ist:

$$En = \frac{\sin \frac{1}{2}(\mu + \psi + DE)}{\sin \frac{1}{2}\psi},$$

und für F:

$$Fn = \frac{\sin \frac{1}{2}(\mu + \psi + DE + EF)}{\sin \frac{1}{2}\psi},$$

was so gut als ganz genau ist.

Tab. III enthält die aus Tab. II berechneten Exponenten der Brechungsverhältnisse für die verschiedenen farbigen Strahlen jedes brechenden Mittels.

Tab. IV enthält die aus Tab. III folgenden Verhältnisse der Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen in mehreren Paaren brechender Mittel. Bei jedem Paare ist die Zerstreuung des weniger zerstreuenden Mittels 1 genannt. Man sieht aus dieser Tabelle, wie groß bei einigen Paaren brechender Mittel der Unterschied der relativen Zerstreuung der verschiedenen farbigen Strahlen ist; so verhält sich z. B. bei Flintglas Nr. 13 und Wasser die Zerstreuung der Strahlen vom Raume BC wie 1 : 2,56 und die vom Raume GH wie 1 : 3,73. Bei einigen, wie bei Flintglas und Terpentinöl, sind aber auch diese Unterschiede verhältnismäßig sehr gering. Man hat daher gegründete Hoffnung, durch Veränderung der Bestandteile der Glasarten solche erhalten zu können, bei welchen diese Unterschiede geringer sind als bei Glasarten, die bisher zu Objektiven gebraucht wurden. Crownglas Lit. *M* ist einer der Versuche, die ich in dieser Absicht im Kleinen gemacht habe.

[**210**] Wird die Abweichung, die wegen der Unterschiede der relativen Zerstreuung der verschiedenen Farben bei einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 3 entsteht, 1,00 genannt, so ist diese Abweichung bei einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 13 von derselben Brennweite ungefähr 0,57; bei einem Objektive aus Crownglas Lit. *M* und Flintglas Nr. 13 0,52; und bei einem Objektive aus Crownglas Nr. 9 und Crownglas Lit. *M* 1,74. Bei Berech-

nung dieser Abweichungen ist auf die Intensität der verschiedenen Farben Rücksicht genommen, worüber unten mehr vorkommen wird.

Aus den erhaltenen Resultaten mit beiden Prismen von Flintglas Nr. 23 läßt sich sehr sicher darauf schließen, wie weit alle gemessenen Bögen und Winkel zuverlässig sind. Bei dem Prisma von 45° dieses Glases ändert ein Unterschied von 2″ im Bogen den Exponenten des Brechungsverhältnisses in der fünften Dezimalstelle um 1. Bei dem Prisma von 60° bringen 3,5″ diese Veränderung hervor.

Da bei achromatischen Objektiven, wenn die Farbenzerstreuung gehoben sein soll, sich die Brennweiten der Linsen ungefähr verhalten müssen, wie die Farbenzerstreuung der beiden Glasarten, das Verhältnis der Zerstreuung für die verschiedenen Farben aber ungleich ist, so ist klar, daß eine Abweichung übrigbleiben müsse, und es entsteht daher die Frage, welches Verhältnis zu nehmen sei, damit diese Abweichung dem deutlichen Sehen so wenig als möglich schade. Daß dieses nicht in dem Falle geschehe, wenn die Längenabweichung so klein als möglich ist, wird bald klar, wenn man erwägt, daß die verschiedenen Farben nicht einerlei Intensität haben, und daß z. B. die Abweichung der gelben Strahlen, die sehr hell sind, ungefähr im Verhältnis ihrer Intensität mehr schaden werden als die violetten bei gleicher Längenabweichung. Es folgt daraus, daß es nötig sei, die Intensität jeder Farbe im Spektrum zu kennen, oder zu wissen, in welchem Verhältnis der Eindruck, den irgend eine Farbe im Spektrum auf das Auge macht, stärker oder schwächer sei als der einer andern Farbe. [211] Um dieses zu finden, wählte ich folgende Vorrichtung.

In einem eigens zu dem Theodolithfernrohre gemachten Okulare ist an dem Orte, wohin das durch das Objektiv gemachte Bild fällt, vor der Okularlinse, unter 45°, ein kleiner Planspiegel *a* (Fig. 7 und 8) von Metall gestellt, dessen einer Rand sehr scharf begrenzt ist und das Gesichtsfeld in der Mitte durchschneidet. Dieser Rand läuft vertikal, und das Okular ist auf ihn so gestellt, daß man ihn ganz deutlich sieht. An der Seite des Okularrohres, vertikal auf dem scharfen Rande des Spiegels und des Achse des Fernrohres, ist ein der Länge nach durchschnittenes Rohr angeschraubt, in dessen Einschnitt ein engeres kurzes Rohr, welches das weitere quer durchschneidet und vertikal steht, geschoben werden kann. In diesem engen Rohre *b* ist in der Achse des weiteren eine kleine

Flamme, der durch eine Verbindung mit einem Ölgefäß von außen Öl zufließen kann. Das vertikal stehende enge Rohr *b* hat in der Achse des weiteren gegen den Spiegel eine kleine runde Öffnung, durch die von der Flamme Licht auf den Spiegel

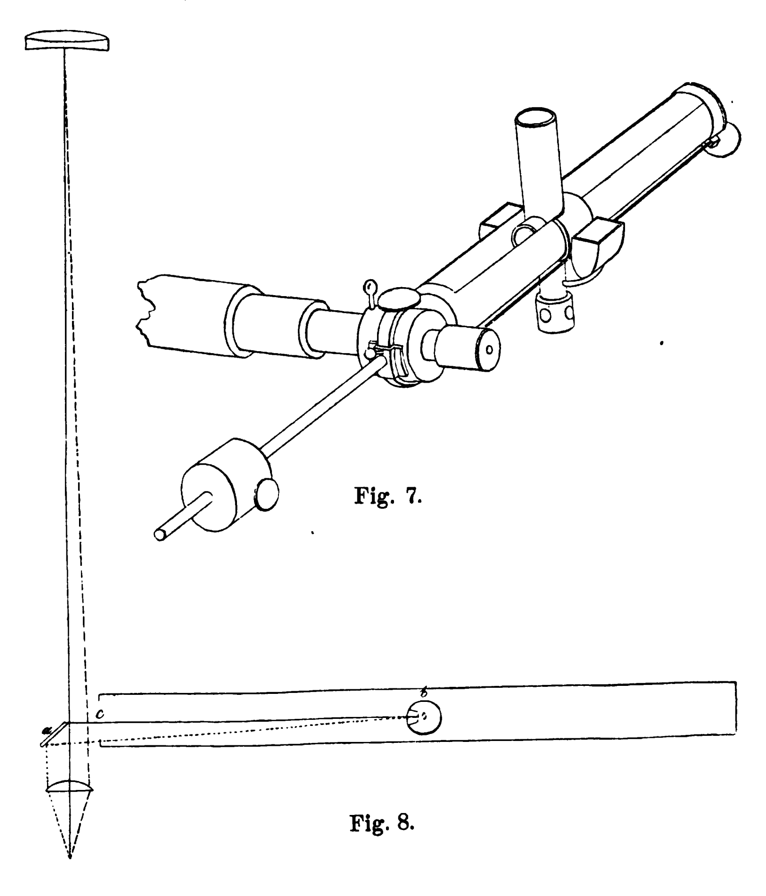


Fig. 7.

Fig. 8.

fallen kann. Man sieht demnach durch das Okular im halben Gesichtsfelde den durch die Flamme beleuchteten Spiegel, während durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes eine der Farben im Spektrum gesehen wird. Der Spiegel wird um so stärker beleuchtet sein, je näher das Rohr *b* bei demselben

ist. Man kann ihn demnach gerade so beleuchten, daß der Eindruck, welchen dessen Licht, durch das Okular gesehen, auf das Auge macht, ebenso stark ist als der Eindruck einer durch die andere Hälfte des Gesichtsfeldes gesehenen Farbe im Spektrum. Die Quadrate der Entfernungen der Flamme vom Spiegel bei den verschiedenen Farben im Spektrum sind alsdann umgekehrt die Verhältnisse der Intensität derselben. Es scheint anfänglich etwas schwer, Licht von zwei verschiedenen Farben unter sich zu vergleichen; doch einige Übung erleichtert es ungemein. [212] Das Licht des Spiegels kommt in Hinsicht seiner Intensität dem einer Farbe im Spektrum alsdann am nächsten, wenn der scharfe Rand desselben bei unverrücktem Okulare am wenigsten deutlich erkannt wird. Kommt man mit dem Spiegel im Farbenbilde an einen mehr oder weniger hellen Ort, so wird in beiden Fällen der Rand des Spiegels deutlicher erkannt, weil dadurch in dem einen Falle der Spiegel, in dem andern die Farbe des Spektrums gleichsam im Schatten zu liegen scheint. Wenn die Linien und Streifen im Farbenbilde deutlich gesehen werden, so ist die Vergleichung mit dem Spiegel etwas schwer und unsicher, weil die helleren und dunkleren Streifen fast in jeder Farbe nebeneinanderliegen; es wurde deswegen die Öffnung am Fensterladen so breit gemacht, daß nur die stärkeren Linien undeutlich erkannt wurden, und man folglich die feineren nicht sah. Statt des Spiegels außerhalb des Fensterladens, durch welchen das Licht einfiel, war nur eine weiße, ebene Fläche angebracht, die von der Sonne beleuchtet wurde; weil eine Unvollkommenheit des Spiegels das Licht unregelmäßig zerstreut, was die Bestimmung erschwert.

Um die Versuche abzuändern, habe ich die runde Öffnung vor der Flamme das eine Mal größer, das andere Mal kleiner gemacht. Ich stellte auch an das Ende des weiteren Rohres in *c* ein auf einer Seite rauh geschliffenes Glas, durch welches erst der Spiegel beleuchtet wurde. In diesem Falle wurden die Entfernungen der Flamme von dem rauhen Glase an gemessen. Um allen Täuschungen zu entgehen, muß die Einsicht am Okulare nur klein sein und muß an dem Orte stehen, wo die Hauptstrahlen die Achse schneiden. Mit dem Prisma vom Flintglase Nr. 13, dessen Winkel 26° 24,5′ mißt, erhielt ich die Resultate, die ich hier folgen lasse. Obschon die Versuche nur bei sehr hellem Himmel und am Mittage gemacht wurden, so war doch einige Male eine Veränderung in der Dich-

tigkeit des auf das Prisma fallenden Lichtes während der ganzen Zeit der Beobachtung wahrzunehmen. [**213**] Ein Teil der Unterschiede in den vier Versuchen kann von diesen Veränderungen herrühren; auch die Flamme kann innerhalb der Zeit des ganzen Versuches ihre Helligkeit verändert haben. Die Nachteile dieser Veränderungen werden sich durch öftere Wiederholung der Versuche vermindern. Ich nenne die Intensität des Lichtes am hellsten Orte 1, alsdann ist sie:

Erster Versuch.

Bei $B = 0{,}010$
» $C = 0{,}048$
» $D = 0{,}61$
Zwischen D und $E = 1{,}00$
Bei $E = 0{,}44$
» $F = 0{,}084$
» $G = 0{,}010$
» $H = 0{,}0011$.

Zweiter Versuch.

Bei $B = 0{,}044$
» $C = 0{,}096$
» $D = 0{,}59$
Zwischen D und $E = 1{,}00$
Bei $E = 0{,}38$
» $F = 0{,}14$
» $G = 0{,}029$
» $H = 0{,}0072$.

Dritter Versuch.

Bei $B = 0{,}053$
» $C = 0{,}15$
» $D = 0{,}72$
[**214**] Zwischen D und $E = 1{,}00$
Bei $E = 0{,}61$
» $F = 0{,}25$
» $G = 0{,}053$
» $H = 0{,}0090$.

Vierter Versuch.

Bei $B = 0,020$
» $C = 0,084$
» $D = 0,62$
Zwischen D und $E = 1,00$
Bei $E = 0,49$
» $F = 0,19$
» $G = 0,032$
» $H = 0,0050$.

Mittel aus den vier Versuchen.

Bei $B = 0,032$
» $C = 0,094$
» $D = 0,64$
Zwischen D und $E = 1,00$
Bei $E = 0,48$
» $F = 0,17$
» $G = 0,031$
» $H = 0,0056$.

Der hellste Ort liegt ungefähr $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ DE von D nach E. Genau ist die Lage dieses Ortes nicht anzugeben, was aber auch zu dieser Absicht eben nicht notwendig ist.

Durch die Kurve Fig. 6 (auf der Tafel) wird die Intensität des Lichtes der verschiedenen Farben dargestellt; die eben gefundenen Werte sind die Ordinaten, und die gemessenen Bögen BC, CD usw., für Flintglas Nr. 13 aus Tabelle II, die Abszissen. [215] Das Verhältnis der Abszissen zu den Ordinaten ist willkürlich. Man kann annehmen, daß durch die Flächenräume BC, CD usw. der Kurve die Menge des Lichtes in den verschiedenen Räumen dargestellt werde. Nennt man die Menge des Lichtes in dem Raume $DE = 1$, so ist sie:

Im Raume $BC = 0,021$
» » $CD = 0,299$
» » $DE = 1,000$
» » $EF = 0,328$
» » $FG = 0,185$
» » $GH = 0,035$.

Nimmt man an, daß bei einem achromatischen Objektive die Abweichung der dichteren Strahlen dem deutlichen Sehen im Verhältnis ihrer Dichtigkeit mehr schade als weniger dichte, so wird die Deutlichkeit alsdann am größten sein, wenn das Verhältnis der Zerstreuung, das $1:x$ heißen mag, so genommen wird, daß:

$$x = \frac{b\beta + c\nu + d\delta + e\varepsilon + f\xi + g\eta}{\beta + \nu + \delta + \varepsilon + \xi + \eta}*,$$

wo β, ν, δ usw. die Menge des Lichtes in den Räumen BC, CD, DE usw. bedeutet und durch b, c, d usw. die Quotienten $\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$, $\frac{Dn' - Bn'}{Dn - Bn}$ usw. ausgedrückt werden. Für Flintglas Nr. 30 und Crownglas Nr. 13 ist demnach dieses Verhältnis wie 1 : 2,012. Ich habe aber gefunden, daß bei Objektiven von diesen beiden Glasarten das Sehen alsdann am deutlichsten ist, wenn dieses Verhältnis wie 1 : 1,98 genommen wird, was beweist, daß die weniger dichten Strahlen etwas mehr als im umgekehrten Verhältnis ihrer Dichtigkeit abweichen müssen, wenn die Deutlichkeit am größten sein soll.

[**216**] Bei welchen aus mehreren Objektiven von denselben Glasarten, bei gleicher Brennweite und Öffnung, die Farbenzerstreuung am besten gehoben ist, erkennt man, wenn man jedes Objektiv halb, die Mitte durchschneidend, zudeckt; bei denjenigen, wo die Linien eines entfernten Gegenstandes, die mit der Durchschnittslinie des Objektives parallel laufen, am deutlichsten gesehen werden, ist die Farbenzerstreuung am vollkommensten gehoben. Man darf sich aber dabei von den Farben, die gesehen werden, nicht irre führen lassen und muß nur auf Präzision sehen, weil man bei einem Objektive weniger Farben sehen kann als bei einem andern, während die Präzision doch geringer ist. Diese umständliche Ableitung des besten Zerstreuungsverhältnisses mußte nur dazu dienen, zu erfahren, wie sehr Strahlen von geringer Dichtigkeit stärker abweichen dürfen als dichtere. Das erhaltene Resultat wird noch einer großen Vervollkommnung fähig sein, wenn es aus größeren Objektiven abgeleitet wird, bei welchen auch die Öffnung

---

*) Es ist nämlich in diesem Falle:

$$(x-b)\beta + (x-c)\nu + (x-d)\delta + (x-e)\varepsilon + (x-f)\xi + (x-g)\eta = 0.$$

im Verhältnis zur Brennweite so groß als möglich ist. Ich behalte mir diese Verbesserung vor. Daß bei allen zu dieser Absicht gebrauchten Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form nicht gleich vollkommen gehoben war, ist zu erinnern überflüssig. Bei genauer Ableitung des besten Zerstreuungsverhältnisses aus Objektiven muß noch auf eine Abweichung Rücksicht genommen werden, die im Auge selbst vorgeht, von der ich jetzt spreche.

Wenn man im Gesichtsfelde des Fernrohres am Theodolith die rote Farbe des Spektrums hat, und das Okular so gestellt ist, daß man den Mikrometerfaden vollkommen deutlich sieht, und man bringt alsdann die blaue Farbe des Spektrums in das Gesichtsfeld, so sieht man bei unverrücktem Okulare den Mikrometerfaden nicht mehr. Um ihn wieder deutlich zu sehen, muß das Okular bedeutend viel dem Faden näher gerückt werden, und zwar um mehr als das Doppelte der Längenabweichung wegen der Farbenzerstreuung der Okularlinse. [217] Dieses beweist, daß die verschiedenen farbigen Strahlen im Auge nicht einerlei Vereinigungsweite haben, und daß das Auge nicht achromatisch ist. Das Maß, um wie viel bei den verschiedenen Farben das Okular verrückt werden müsse, um den Faden deutlich zu sehen, dient, wenn man noch auf die Farbenzerstreuung der Okularlinse Rücksicht nimmt, zur Berechnung dieser Abweichung, die nicht unbedeutend ist. Daß bei dieser Bestimmung kein anderes Licht als das des Spektrums in das Gesichtsfeld kommen dürfe, auch der Faden ganz unbeleuchtet von anderm Lichte sein müsse, ist zu erinnern überflüssig. Mit einer Okularlinse aus Crownglas Nr. 13 von 0,88″ Brennweite fand ich, daß, wenn man mit dem Faden von dem Strahle C auf den Strahl G geht, das Okular um 0,054″ Pariser Maß verrückt werden müsse, um den Faden mit beiden Strahlen gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Crownglas Nr. 13 von 1,33″ Brennweite muß bei denselben beiden Strahlen um 0,111″ verrückt werden, um den Faden gleich deutlich zu sehen. Eine Linse aus Flintglas Nr. 30 von 0,867″ Brennweite muß in demselben Falle um 0,074″ verrückt werden, und eine Linse aus Flintglas Nr. 30 von 1,338″ Brennweite um 0,148″. Während ich bei diesen Versuchen mit dem einen Auge durch die Okularlinse nach dem Faden sah, sah ich mit dem andern Auge nach einem in der Achse desselben gelegenen unveränderlichen Gegenstande, damit ich versichert sein möge, daß das Auge bei den verschiedenen farbigen

Strahlen immer gleich geeignet bleibe, weiße Strahlen von bestimmter Divergenz auf der Netzhaut zu vereinigen, und es sich folglich in dieser Beziehung bei den verschiedenen Farben nicht ändere. Auch wenn ich diese Vorsicht nicht brauchte, wichen die Resultate von den vorigen nicht merklich ab. Aus der ersten Linse erhält man, daß, wenn die roten Strahlen *C* parallel auf das Auge fallen, die blauen *G* von einem 23,7″ entlegenen Punkte her divergieren müssen, um im Auge einerlei Vereinigungsweite zu haben. [**218**] Aus der zweiten Linse erhält man dieses Maß 21,3″; aus der dritten 19,5″; aus der vierten 17,9″. Auf den Anteil, den die Zerstreuung der Linsen am obigen Verrücken hat, ist bei dieser Berechnung Rücksicht genommen. Durch Wiederholung und Abänderung der Versuche wird diese Abweichung erst genauer bestimmt werden müssen. Es wäre zu wünschen, daß die Versuche durch Augen verschiedener Personen wiederholt würden, um, wenn sich Unterschiede finden, ein Mittel daraus nehmen zu können. Es ist klar, daß es allerdings der Mühe wert sei, bei Berechnung achromatischer Objektive auch auf die Farbenzerstreuung des Auges Rücksicht zu nehmen und diese Abweichung durch die Objektive zu vernichten.

Wenn bei achromatischen Objektiven die Abweichung wegen der sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben sein soll, so müssen bei Berechnung derselben die angenommenen Exponenten der Brechungsverhältnisse der mittleren Strahlen in beiden Glasarten für einen und denselben farbigen Strahl gehören; gehören sie für zwei verschiedene Strahlen, so ist, der genauesten Rechnung ungeachtet, diese Abweichung nur unvollkommen gehoben. Da man sich durch die Entdeckung der Linien im Farbenbilde hiervon vollkommen versichern kann, so ist der Nutzen der Linien auch zur Vernichtung dieser Abweichung von Bedeutung.

Vor Entdeckung der Linien im Farbenbilde überzeugte ich mich von dem gleichen Brechungsvermögen zweier Stücke Glases dadurch, daß ich von beiden Stücken, zusammengekittet, ein Prisma schliff; erschienen die beiden Spektra, die durch dieses Prisma gesehen wurden, an einem Orte und gegeneinander nicht verrückt, so schloß ich, daß das Brechungsvermögen beider Stücke gleich sei. Nach Entdeckung der Linien im Farbenbilde aber fand ich, daß zwei solche Stücke noch sehr verschiedenes Brechungsvermögen haben können, ohne daß es auf obige Art bemerkbar wird. Nicht nur Stücke aus verschie-

denen Orten eines Schmelzhafens waren in ihrem Brechungsvermögen merklich verschieden, sondern auch in zwei Stücken von einer Scheibe fand ich vielmal noch sehr kenntliche Unterschiede. [219] Ich habe es jetzt durch viele Versuche dahin gebracht, daß aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas selbst zwei Stücke, wovon eins vom Boden, das andere von der Oberfläche des Hafens genommen ist, gleiches Brechungsvermögen haben.

Beim Anblick der vielen Linien und Streifen im Farbenbilde vom Sonnenlichte enthält man sich vielleicht schwer der Vermutung, daß die Beugung des Lichtes an den schmalen Öffnungen des Fensterladens mit diesen Linien in Verbindung sein könnte, obschon die angegebenen Versuche nicht im geringsten darauf hinweisen, sondern es vielmehr gänzlich verneinen. Teils, um in dieser Hinsicht ganz gewiß zu sein, teils auch, um noch einige andere Erfahrungen zu machen, änderte ich die Versuche noch auf folgende Art ab.

Läßt man durch eine kleine runde Öffnung am Fensterladen, deren Durchmesser ungefähr nur 15 Sekunden beträgt, Sonnenlicht auf ein Prisma fallen, das vor dem Theodolithfernrohre liegt, so ist klar, daß das Farbenbild, welches durch das Fernrohr gesehen wird, nur unmerkliche Breite haben könne, also nur eine Linie bilde; in einer farbigen Linie aber können keine feinen Querlinien gesehen werden. Um in diesem Farbenbilde die vielen Linien sehen zu können, käme es nur darauf an, durch das Objektiv das Farbenbild breiter zu machen, ohne es in seiner Länge im geringsten zu verändern. Dieses brachte ich dadurch zustande, daß ich an das Objektiv noch ein Glas legte, das auf einer Seite sehr gut plan, auf der andern nach einem Zylinder von sehr großem Durchmesser gekrümmt war. Die Achse des Zylinders lief mit der Grundfläche des Prismas genau parallel; folglich konnte das Farbenbild in seiner Länge nicht geändert werden und wurde nur breiter gemacht. [220] In diesem Falle erkannte ich im Farbenbilde wieder alle Linien unverändert, so wie sie gesehen werden, wenn das Licht durch eine lange schmale Öffnung einfällt.

Dieselbe Vorrichtung habe ich dazu angewendet, zur Nachtzeit unmittelbar nach der Venus zu sehen, ohne das Licht durch eine kleine Öffnung einfallen zu lassen, und ich fand auch im Farbenbilde von diesem Lichte die Linien, wie sie im Sonnenlichte gesehen werden. Da aber das Licht der

Venus, im Vergleiche mit dem von einem Spiegel reflektierten Sonnenlichte, nur sehr geringe Dichtigkeit hat, so ist die Intensität der violetten und äußeren roten Strahlen sehr schwach, und deswegen werden in diesen beiden Farben selbst die stärkeren Linien schwer erkannt; in den übrigen Farben aber sind sie sehr gut zu sehen. Ich habe die Linien *D*, *E*, *b*, *F* (Fig. 5) ganz begrenzt gesehen und erkannte selbst, daß die bei *b* aus zwei, nämlich einer schwächeren und einer stärkeren, bestehe; daß aber die stärkere selbst wieder aus zweien bestehe, konnte ich aus Mangel des Lichtes nicht erkennen. Aus demselben Grunde wurden die übrigen feineren Linien nicht bestimmt gesehen. Ich habe mich durch ungefähres Messen der Bögen *DE* und *EF* überzeugt, daß das Licht der Venus in dieser Beziehung von einerlei Natur mit dem Sonnenlichte sei.

Ich habe auch mit derselben Vorrichtung Versuche mit dem Lichte einiger Fixsterne erster Größe gemacht. Da aber das Licht dieser Sterne noch vielmal schwächer ist als das der Venus, so ist natürlich auch die Helligkeit des Farbenbildes vielmal geringer. Dessenungeachtet habe ich, ohne Täuschung, im Farbenbilde vom Lichte des Sirius drei breite Streifen gesehen, die mit jenen vom Sonnenlichte keine Ähnlichkeit zu haben scheinen; einer dieser Streifen ist im Grünen und zwei im Blauen. Auch im Farbenbilde vom Lichte anderer Fixsterne erster Größe erkennt man Streifen; doch scheinen diese Sterne, in Beziehung auf die Streifen, unter sich verschieden zu sein. [**221**] Da das Objektiv, das an dem Theodolithfernrohre ist, nur 13 Linien Öffnung hat, so ist klar, daß diese Versuche noch mit vielmal größerer Vollkommenheit gemacht werden können. Ich werde sie mit zweckmäßigen Veränderungen und mit einem größeren Objektive noch einige Male wiederholen, um vielleicht einem geübten Naturforscher zur Fortsetzung dieser Versuche Veranlassung zu geben; was um so mehr zu wünschen wäre, da sie zugleich zur genauesten Vergleichung der Brechbarkeit des Lichtes der Fixsterne mit der des Lichtes der Sonne dienen.

Das Licht der Elektrizität ist in Hinsicht der Streifen und Linien des Farbenbildes sowohl vom Sonnenlichte, als auch vom Lichte des Feuers sehr auffallend verschieden. Man findet im Farbenbilde von diesem Lichte mehrere, zum Teil sehr helle Linien, worunter eine im Grünen gegen den übrigen Teil des Spektrums fast glänzend hell ist. Eine andere, nicht ganz so helle Linie, ist im Orange; sie scheint dieselbe Farbe zu

haben wie die helle Linie im Farbenbilde vom Lampenlichte, mißt man aber den Winkel der Brechung, so findet man, daß ihr Licht bedeutend stärker gebrochen ist, ungefähr so wie die gelben Strahlen beim Lampenlichte. Gegen das Ende des Farbenbildes im Roten bemerkt man eine Linie, die nicht sehr hell ist; ihr Licht wird, soweit ich mich bis jetzt davon versichern konnte, ebenso stark gebrochen wie das der hellen Linie vom Lampenlichte. In dem übrigen Teile des Farbenbildes kann man noch 4 helle Linien sehr leicht erkennen*).

Läßt man Lampenlicht durch eine sehr schmale Öffnung von 15—30 Sekunden Breite auf ein stark zerstreuendes Prisma fallen, das vor einem Fernrohre liegt, so erkennt man, daß die rötlichgelbe helle Linie dieses Spektrums aus zwei sehr feinen hellen Linien besteht, die in Stärke und Entfernung den beiden dunklen Linien D (Fig. 5) ähnlich sind. [**222**] Sowohl wenn die Öffnung, durch welche das Lampenlicht führt, schmal, als wenn sie breit ist, wird, wenn man die Spitze der Flamme und das untere blaue Ende derselben zudeckt, also nur den hellsten Teil der Flamme freiläßt, die rötlichgelbe Linie des Farbenbildes nicht sehr hell gesehen und daher schwerer erkannt. Es scheint demnach diese Linie hauptsächlich von dem Lichte der beiden Enden der Flamme, besonders von dem unteren, gebildet zu werden.

Im Farbenbilde von dem Lichte, welches durch Verbrennen von Wasserstoffgas, auch in dem, welches durch Verbrennen von Alkohol entsteht, ist die rötlichgelbe Linie im Verhältnis zu dem übrigen Teile des Farbenbildes sehr hell. Beim Verbrennen von Schwefel wird sie nur sehr schwer erkannt.

Ich werde diejenigen Versuche, die auf Vervollkommnung achromatischer Fernrohre Bezug haben, mit einem neuen Instrumente, mit dem ich wenigstens noch doppelt so große Genauigkeit zu erhalten hoffe, wiederholen. Ich werde mit diesem Instrumente auch neue Versuche machen können, wozu

*) Um das elektrische Licht zu diesem Behufe zu fixieren, habe ich zwei Konduktoren, wovon der eine mit einer Elektrisiermaschine und der andere mit einer Ableitung verbunden war, bis auf einen halben Zoll einander genähert und mit einem sehr feinen Glasfaden verbunden. Das Licht schien dann kontinuierlich an dem Faden überzugehen, und der Faden bildete eine feine leuchtende Linie.

das bisher gebrauchte nicht geeignet ist, die vielleicht für praktische Optik von Interesse werden könnten.

Bei allen meinen Versuchen durfte ich, aus Mangel der Zeit, hauptsächlich nur auf das Rücksicht nehmen, was auf praktische Optik Bezug zu haben schien, und das übrige entweder gar nicht berühren oder nicht weit verfolgen. Da der hier mit physisch-optischen Versuchen eingeschlagene Weg zu interessanten Resultaten führen zu können scheint, so wäre sehr zu wünschen, daß ihm geübte Naturforscher Aufmerksamkeit schenken möchten.

[223]

Tabelle I.

Brechendes Mittel	Temperat. Réaum.	Spezif. Gewicht	Winkel des Prismas	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle N macht	ON	NM	NL	NK	NI
Crownglas Nr. 9	3°	2,535	39° 20′ 35″	22° 38′ 20″	6′ 1″	5′ 46″	11′ 22″	16′ 56″	22′ 16″
Flintglas Nr. 13	$5\frac{1}{2}$°	3,723	26° 24′ 30″	17° 27′ 9″	7′ 17″	7′ 15″	14′ 18″	21′ 31″	28′ 46″
Wasser	8°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 41″	6′ 35″	6′ 19″	12′ 9″	17′ 45″	23′ 18″
Wasser	$9\frac{1}{4}$°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 43″	6′ 30″	6′ 12″	12′ 5″	17′ 43″	23′ 10″
Schwefelsäure	$9\frac{1}{2}$°	1,841	58° 5′ 40″	29° 27′ 47″	7′ 50″	7′ 15″	14′ 3″	20′ 30″	26′ 45″
Alkohol	9°	0,809	58° 5′ 40″	25° 8′ 32″	6′ 35″	6, 17″	12′ 55″	18′ 45″	—
Schwefeläther	9°	—	58° 5′ 40″	24° 38′ 39″	6′ 20″	6′ 27″	12′ 55″	19′ 10″	—
Terpentinöl	7°	0,885	58° 5′ 40″	33° 22′ 8″	11′ 00″	11′ 35″	22′ 45″	34′ 20″	—
Kali in Wasser aufgelöst	$8\frac{1}{2}$°	1,416	58° 5′ 40″	27° 45′ 54″	8′ 32″	7′ 58″	15′ 35″	23′ 6″	30′ 24″
1 Teil essigsaures Blei, 3 Teile Wasser	$8\frac{1}{2}$°	—	58° 5′ 40″	24° 34′ 49″	7′ 54″	7′ 31″	14′ 47″	21′ 40″	28′ 22″
Terpentinöl	$8\frac{1}{2}$°	0,885	58° 5′ 40″	33° 20′ 8″	11′ 5″	11′ 32″	22′ 45″	33′ 56″	44′ 50″

[224] Tabelle II.

Brechendes Mittel	Temp. Réaum.	Spez. Gewicht	Winkel des Prismas	Winkel, den der einfallende Strahl mit dem gebrochenen Strahle D macht μ	BC	CD	DE	EF	FG	GH
Flintglas Nr. 13	15°	3,723	26° 24′ 30″	17° 27′ 8″	3′ 16″	9′ 4,2″	11′ 50″	10′ 33,9″	20′ 23,9″	18′ 18″
Crownglas Nr. 9	·14°	2,535	39° 20′ 35″	22° 38′ 19″	2′ 44,5″	7′ 23,5″	9′ 14″	8′ 14″	15′ 10″	13′ 18″
Wasser	15°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 40″	3′ 24″	8′ 10″	9′ 58″	8′ 38″	15′ 16″	12′ 41,9″
Wasser	15°	1,000	58° 5′ 40″	22° 36′ 40″	3′ 12,4″	8′ 10,6″	9′ 57,5″	8′ 30,5″	15′ 15,6″	12′ 46,2″
Eine Auflösung von Kali im Wasser	9°	1,416	58° 5′ 40″	27° 45′ 56″	4′ 2″	10′ 26″	12′ 54″	11′ 12″	20′ 36″	17′ 24″
Terpentinöl	8½°	0,885	58° 5′ 40″	33° 20′ 12″	4′ 56″	13′ 52″	18′ 46,1″	16′ 14″	31′ 8″	27′ 28″
Flintglas Nr. 3	—	3,512	27° 41′ 35″	17° 35′ 16,6″	3′ 8″	8′ 22″	10′ 46″	9′ 50″	19′ 10″	17′ 10″
Flintglas Nr. 30	—	3,695	21° 42′ 15″	14° 3′ 9″	2′ 35,6″	6′ 56,8″	9′ 12,6″	8′ 19″	16′ 15,6″	14′ 32,2″
Crownglas Nr. 13	—	2,535	43° 27′ 36″	25° 26′ 35,4″	3′ 5″	8′ 14,4″	10′ 28,2″	9′ 10″	17′ 14,8″	14′ 48,4″
Crownglas Lit. *M*	—	2,756	42° 56′ 40″	26° 39′ 13″	3′ 32,8″	9′ 37,6″	12′ 29,8″	11′ 1,6″	20′ 53,6″	18′ 17,4″
Flintglas Nr. 23	—	3,724	60° 15′ 42″	49° 55′ 13,2″	11′ 12,6″	31′ 14,8″	41, 21,4″	38′ 14.8″	1° 14′ 45,2″	1° 8′ 3,6″
Flintglas Nr. 33	—	3,724	45° 23′ 14″	32° 45′ 12,2″	6′ 26″	17′ 47,8″	23′ 31,8″	21′ 23,8″	41′ 33,4″	37′ 28,8″

[225]

Tabelle III.

Brechendes Mittel	*Bn*	*Cn*	*Dn*	*En*	*Fn*	*Gn*	*Hn*
Flintglas Nr. 13	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crownglas Nr. 9	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Wasser	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Wasser	1,330977	1,331709	1,333577	1,335849	1,337788	1,341261	1,344162
Kali	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpentinöl	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas Nr. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas Nr. 30	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas Nr. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,539908	1,544684
Crownglas Lit. *M*	1,554774	1,555933	1'559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas Nr. 23 Prisma von 60°	1,626596	1,628469	1,633667	1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
Flintglas Nr. 23 Prisma von 45°	1,626564	1,628451	1,633666	1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

[226]

Tabelle IV.

Brechendes Mittel	$\frac{Cn' - Bn'}{Cn - Bn}$	$\frac{Dn' - Cn'}{Dn - Cn}$	$\frac{En' - Dn'}{En - Dn}$	$\frac{Fn' - En'}{Fn - En}$	$\frac{Gn' - Fn'}{Gn - Fn}$	$\frac{Hn' - Gn'}{Hn - Gn}$
Flintglas Nr. 13 und Wasser	2,562	2.871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flintglas Nr. 13 und Crownglas glas Nr. 9	1,900	1,956	2,044	2,047	2,145	2,195
Crownglas Nr. 9 und Wasser	1,349	1,468	1,503	1,560	1,613	1,697
Terpentinöl und Wasser	1,371	1,557	1,723	1,732	1,860	1,963
Flintglas Nr. 13 und Terpentinöl	1,868	1,844	1,783	1,843	1,861	1,899
Flintglas Nr 13 und Kali.	2,181	2.338	2.472	2,545	2,674	2.844
Kali und Wasser	1,175	1,228	1,243	1,254	1,294	1,310
Terpentinöl und Kali	1,167	1,268	1,386	1,381	1,437	1,498
Flintglas Nr. 3 und Crownglas Nr. 9	1,729	1,714	1,767	1,808	1,914	1,956
Crownglas Nr. 13 und Wasser	1,309	1,436	1,492	1,518	1,604	1,651
Crownglas Lit. *M* und Wasser	1.537	1,682	1,794	1,839	1,956	2,052
Crownglas Lit. *M* und Crownglas Nr. 13	1,174	1,171	1,202	1,211	1,220	1,243
Flintglas Nr. 13 und Crownglas Lit. *M*	1,667	1,704	1,715	1,737	1,770	1,816
Flintglas Nr. 3 und Crownglas Lit. *M*	1,517	1,494	1,482	1,534	1,579	1,618
Flintglas Nr. 30 und Crownglas Nr. 13	1,932	1,904	1,997	2,061	2,143	2,233
Flintglas Nr. 23 und Crownglas Nr. 13	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

Anmerkungen.

Joseph Fraunhofer wurde am 6. März 1787 geboren zu Straubing an der Donau in Niederbayern, als zehntes Kind eines in dürftigen Verhältnissen lebenden Glasermeisters. Früh verwaist, kam er 1799 zum Spiegelfabrikanten und Glasschleifer *Weichselberger* in München, mußte, da er kein Lehrgeld zahlen konnte, sich verpflichten, sechs Jahre in der Werkstatt, in Haushalt und Küche zu dienen. Im Jahre 1801 stürzte das Haus, in der Thierecksstraße gelegen, ein. Unter den Trümmern fand man den Knaben unverletzt! Dieses Ereignis gewann ihm ein Geschenk des Kurfürsten *Max Joseph* und die Teilnahme *Utzschneiders*, der ihn fortan mit Büchern versah. Mit dem geschenkten Gelde kaufte er sich von seinem Dienstherrn los und erstand eine Glasschleifmaschine. Nun erlernte er auch das Metallgravieren, konnte sich indes noch nicht seinen Unterhalt erwerben, so daß er sich gezwungen sah, wieder in den früheren Dienst zu treten. Unterdes hatte *Utzschneider* mit *Reichenbach* zusammen ein optisch-mechanisches Institut gegründet. In dieses wurde *Fraunhofer* 1806 als Optiker aufgenommen. Die Werkstatt wurde 1807 nach Benedictbeuern verlegt, wo bis dahin die Gläser geschmolzen wurden. Schon 1809 wurde *Fraunhofer* Teilhaber der Firma, er verbesserte alle Maschinen und Werkzeuge, beaufsichtigte seit 1811 auch die Glasschmelze, in der er Flint- und Crownglas streifenfrei herstellte. Ganz besondere Fortschrittte erzielte er durch Berechnung der Linsenformen und war bahnbrechend in allen Fragen der Achromasie. Hier entdeckte er auch die in jeder Flamme auftretende gelbe Linie und sehr bald darauf das nach ihm benannte Spektrum. Die darauf bezügliche Abhandlung ist es, die wir vorstehend bringen. Sie wurde am 12. April 1817 der Kön. Bayrischen Akademie vorgelegt, die ihn am 3. Mai zum korrespondierenden Mitgliede ernannte. Im Jahre 1821 wurde er »besuchendes Mitglied« der Akademie, nach-

dem er seine berühmte Entdeckung der Beugung durch Gitterspektra eingereicht hatte. In dieser Arbeit sind die ersten Messungen der Lichtwellenlängen enthalten.

Reichenbach trat 1814 aus dem Geschäfte aus, und es ward eine neue Firma gegründet: *Utzschneider & Fraunhofer*, die 1817 nach München versetzt wurde.

Im Jahre 1819 wurde *Fraunhofer* Professor und 1823 Konservator der Sammlungen der Akademie. In den persönlichen Adelstand ward er 1824 erhoben. Erlangen ernannte ihn 1822 zum Dr. hon. c., zahlreiche Gesellschaften wählten ihn zum Mitgliede.

Auch Vorlesungen hat er gehalten, und zwar über theoretische und praktische Optik vor einem »von ihm nach den Eigentümlichkeiten seines Vortrages zu bestimmenden Kreise von Zuhörern«, Sonntags 11—1 Uhr in *Utzschneiders* Hause.

Erst 39 Jahre alt, erlag er nach achtmonatlicher Krankheit einem Brustleiden am 7. Juni 1826. Er wurde neben *Reichenbach* begraben, und *Utzschneider* widmete ihm einen Grabstein mit der Inschrift: »Approximavit sidera«.

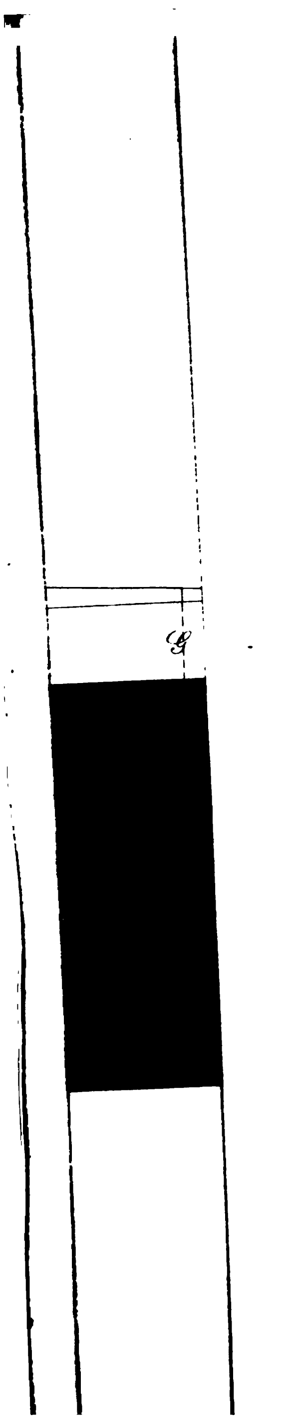
Fraunhofers gesammelte Schriften wurden zurzeit seines 100jährigen Geburtstages im Auftrage der Bayrischen Akademie 1888 herausgegeben. Zahlreiche Lebensbeschreibungen zeugen von der Bedeutung des großen Forschers.

Fraunhofers Bemühungen ist es zu danken, daß der Bau lichtstarker, achromatischer Fernrohre mit starker Vergrößerung in Schwung kam. Das erste, vorzüglich gelungene berühmte Instrument kam nach Dorpat, wo es noch jetzt, obwohl längst überholt, das Hauptinstrument ist. Viele Jahre war es das beste der Welt. Eine genaue Beschreibung gab Friedrich Wilhelm Struve in einem Foliobande, Dorpat, 1825.

Ein Blick auf das unserem Heft beigeschlossene, zur Abhandlung gehörende Spektrum läßt uns mit Erstaunen erkennen, mit welch riesigen Schritten *Fraunhofer* sich das ganze Gebiet erwarb und sofort zu großer Vollkommenheit brachte. Sein von eigener Hand gestochenes Spektrum steht den heutigen Arbeiten nicht nach. Die gesamte Optik und Astronomie war gefördert, denn *Fraunhofers* Entdeckungen haben wesentlich sowohl die formale, als die theoretische Optik auf neue Grundlage gestellt.

In München ist ihm ein Denkmal errichtet, dessen Abbildung wir unserem Hefte vorangestellt haben.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.


G

Nr. 72. **G. Kirchhoff und R. Bunsen,** Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. (1860.) Herausg. von W. Ostwald. Mit 2 Tafeln und 7 Textfiguren. (74 S.) ℳ 1.40.

» 76. **F. E. Neumann,** Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus den Gleichungen der Mechanik. (1832.) Herausgegeben von A. Wangerin. (52 S.) ℳ —.80.

» 79. **H. v. Helmholtz,** 2 hydrodynamische Abhandlungen. I. Über Wirbelbewegungen. (1858.) — II. Über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen. (1868.) Herausg. von A. Wangerin. (80 S.) ℳ 1.20.

» 80. —— Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden. (1859.) Herausgegeben von A. Wangerin. (132 S.) ℳ 2.—.

» 81. **Michael Faraday,** Experimental-Untersuchungen über Elektrizität. I. u. II. Reihe. (1832.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 41 Textfiguren. (96 S.) ℳ 1.50.

» 86. —— —— III. bis V. Reihe. (1833.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 15 Textfiguren. (104 S.) ℳ 1.60.

» 87. —— —— VI. bis VIII. Reihe. (1834.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 48 Textfiguren. (180 S.) ℳ 2.60.

» 96. **Sir Isaac Newtons** Optik. (1704.) Übersetzt und herausgegeben von William Abendroth. I. Buch. Mit dem Bildnis von Sir Isaac Newton und 46 Textfiguren. (132 S.) ℳ 2.40.

» 97. —— —— II. u. III. Buch. Mit 12 Textfiguren. (156 S.) ℳ 2.40.

» 99. **R. Clausius,** Über die bewegende Kraft der Wärme. (1850.) Herausg. von Max Planck. Mit 4 Textfiguren. (55 S.) ℳ —.80.

» 100. **G. Kirchhoff,** Emission und Absorption: 1. Fraunhofersche Linien. (1859.) — 2. Zusammenhang zwischen Emission und Absorption. (1859.) — 3. Verhältniss zwischen dem Emissions- u. Absorptionsvermögen der Körper für Licht u. Wärme. (1860—1862.) Herausg. von Max Planck. Mit dem Bildnis von G. Kirchhoff u. 5 Textfiguren. (41 S.) ℳ 1.—.

» 101. —— —— Abhandl. über mechan. Wärmetheorie: 1. Ein Satz der mechan. Wärmetheorie und Anwendungen. (1858.) — 2. Spannung des Wasserdampfes bei Temperaturen, die dem Eispunkte nahe sind. (1858.) — 3. Spannung des Dampfes von Mischungen aus Wasser u. Schwefelsäure. Herausgeg. von Max Planck. (48 S.) ℳ —.75.

» 102. **James Clerk Maxwell,** Physikalische Kraftlinien. Herausgegeben von L. Boltzmann. Mit 12 Textfiguren. (147 S.) ℳ 2.40.

» 106. **D'Alembert,** Dynamik. (1743.) Übersetzt und herausgegeben von Arthur Korn. Mit 4 Tafeln. (210 S.) ℳ 3.60.

» 109. **Riccardo Felici,** Mathematische Theorie der elektro-dynamischen Induction. Übersetzt von B. Dessau. Herausg. von E. Wiedemann. (121 S.) ℳ 1.80.

» 114. **Allessandro Volta,** Briefe über thierische Elektricität. (1792.) Herausg. von A. v. Oettingen. (162 S.) ℳ 2.50.

» 115. **Horace Bénédicte de Saussure,** Hygrometrie. I. Heft. (1783.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit einer Tafel u. Vignette. (168 S.) ℳ 2.60.

» 118. **Alessandro Volta,** Untersuchungen über den Galvanismus. (1796 bis 1800.) Herausgeg. von A. v. Oettingen. (99 S.) ℳ 1.60.

» 119. **Horace Bénédicte de Saussure,** Hygrometrie. II. Heft. (1783.) Herausgegeben von A. v. Oettingen. Mit 2 Textfiguren. (170 S.) ℳ 2.40.